

PCT/EP 99/08376  
#3  
11.15.01  
RWN

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 13 DEC 1999

WIPO PCT

## Bescheinigung

ENTU

Herr Professor Dr.-Ing. Dr.h.c. Andreas B o e h r i n g e r in Stuttgart/Deutschland  
hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Einrichtung und Verfahren zur Gewinnung eines dynamisch hochwertigen, teilweise synthetisierten Signals für die Beschleunigung des Läufers eines Antriebs"

am 5. November 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol  
H 02 P 7/36 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 22. Oktober 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Aktenzeichen: 198 51 003.9

Keller



4  
Belegexemplar  
Darf nicht geändert werden

02. November 1998

Reg.-Nr. PM-AFB-RS-981030

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Boehringer  
70197 Stuttgart

Einrichtung und Verfahren zur Gewinnung eines dynamisch hochwertigen, teilweise synthetisierten Signals für die Beschleunigung des Läufers eines elektrischen Antriebs

Für den Aufbau einer hochwertigen Positions- oder Geschwindigkeitsregelung für einen rotatorischen bzw. linearen elektrischen Antrieb ist es bisher üblich, die unmittelbar drehmoment- bzw. kraftbildende Komponente von dessen Stromraumzeiger in einer innersten Schleife zu führen, d. h. unterlagert zu regeln [1;2]. Jüngste Entwicklungen [3;4] haben gezeigt, daß es dem gegenüber sehr vorteilhaft ist, in der innersten Schleife nicht die unmittelbar drehmoment- bzw. kraftbildende Komponente des Stromraumzeigers sondern unmittelbar die Beschleunigung des bewegten Teils zu führen, d. h. unterlagert zu regeln. Dies ist bei rotatorischen Antrieben die Drehbeschleunigung des Rotors und bei Linearantrieben die Linearbeschleunigung des Läufers.

Somit ist eine Erfassung dieser Größen mit Hilfe eines Beschleunigungsmessers erforderlich, der z. B. nach dem Ferraris-Prinzip arbeiten kann [3;4;5]. Dieser Beschleunigungsmesser weist zum einen aber grundsätzlich eine, wenn auch geringe Meßverzögerung auf. Zum anderen kann dieser Beschleunigungsmesser nie völlig starr mit dem Ort, an dem bei einem rotatorischen Antrieb der Drehschub bzw. bei einem Linearantrieb der Linearschub angreift, verbunden werden. Diese beiden Gegebenheiten führen dazu, daß sich im unterlagerten Regelkreis für die Beschleunigung Grenzzyklen und/oder selbsterregte Schwingungen ausbilden [4]. Ohne eine Vermeidung dieser Grenzzyklen und/oder selbsterregten Schwingungen ist der Einsatz einer solchen unterlagerten Regelschleife bei einer hochwertigen Positions- oder Geschwindigkeitsregelung nicht

zielführend. Ein Verfahren zur Unterdrückung dieser Grenzzyklen und/oder selbsterregten Schwingungen in der unterlagerten Regelschleife für die Beschleunigung wird für rotatorische Antriebe in [4] vorgestellt. Dieses Verfahren weist aber den Nachteil auf, daß seine Realisierung extrem aufwendig ist und daß es dazuhin äußerst empfindlich auf Schwankungen der Parameter des Antriebs reagiert.

Mit Hilfe der hiermit vorgestellten erfindungsgemäßen Einrichtung soll auf einfache Weise ein dynamisch hochwertiges, teilweise synthetisiertes Signals für die Drehbeschleunigung des Läufers eines elektrischen Antriebs gewonnen werden. Mit diesem Signal kann weitgehend unabhängig von den Parametern des Antriebs eine unterlagerte Regelung der Beschleunigung unter Vermeidung von Grenzzyklen und/oder selbsterregten Schwingungen in diesem unterlagerten Beschleunigungsregelkreis verwirklicht werden.

Mit einer Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 6 kann ein solches dynamisch hochwertiges, teilweise synthetisiertes Signal gewonnen werden.

Hierzu wird bei einem Drehstromantrieb die Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers mittels eines, mit diesem Läufer mechanisch verbundenen, vorzugsweise nach dem Ferraris-Prinzip arbeitenden Beschleunigungsmessers [3;4;5] meßtechnisch erfaßt und steht damit als gemessenes Beschleunigungssignal  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung. Hierbei stellt  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , die sogenannte Meßübertragungsfunktion des Beschleunigungsmessers dar. Das Drehmoment  $m$  des Antriebs, das nachstehend als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = m$  bezeichnet sei, wird ebenfalls meßtechnisch erfaßt und steht damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung. Wie unmittelbar einzusehen ist, kann, ohne die Funktion der erfindungsgemäßen Einrichtung zu beeinträchtigen, anstelle des Drehmoments  $m$  des Antriebs natürlich auch die unmittelbar drehmomentbildende Querstromkomponente  $i_q$  des Stromraumzeigers der drehstromgespeisten Wicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = i_q$  verwendet werden. Dabei wird nachstehend, wie in

der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut drehsteifen Verbindung von jener Oberfläche des rotatorisch bewegten Läufers, an welcher der Drehschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des rotatorisch bewegten Teils des Drehbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung  $b_m = \alpha \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist. Das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  wird dem Eingang eines Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt. An dessen Ausgang kann daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden. Das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  wird dem Eingang eines Hochpasses mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt. An dessen Ausgang kann infolgedessen das Signal  $y = b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden. Nun wird gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal

$z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet. Dieses Synthesesignal  $z$  findet als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung.

Bei einem Wanderfeldantrieb wird die Linearbeschleunigung  $\alpha$  des linear bewegten Läufers mittels eines, mit diesem Läufer mechanisch verbundenen, vorzugsweise nach dem in die Linearbewegung transponierten Ferraris-Prinzip arbeitenden Beschleunigungsmessers meßtechnisch erfaßt und steht damit als gemessenes Beschleunigungssignal  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung. Hierbei stellt  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , die sogenannte Meßübertragungsfunktion des Beschleunigungsmessers dar. Die Linearkraft  $f$  des Antriebs, die nachstehend als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = f$  bezeichnet sei, wird ebenfalls meßtechnisch erfaßt und steht damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung. Wie unmittelbar einzusehen ist, kann, ohne die Funktion der erfindungsgemäßen Einrichtung zu beeinträchtigen,

anstelle der Linearkraft  $f$  des Antriebs natürlich auch die unmittelbar linearkraftbildende Querstromkomponente  $i_q$  des Stromraumzeigers der mehrphasenstromgespeisten Wicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = i_q$  verwendet werden. Dabei wird nachstehend, wie in der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut steifen Verbindung von jener Oberfläche des linear bewegten Läufers, an welcher der Linearschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des linear bewegten Teils des Linearbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung

$b_m = \alpha \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist. Das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  wird dem Eingang eines Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt. An dessen Ausgang kann daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden. Das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  wird dem Eingang eines Hochpasses mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt. An dessen Ausgang kann daher das Signal  $y = b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden. Nun wird gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal

$z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet. Dieses Synthesesignal  $z$  findet als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Linearbeschleunigung  $\alpha$  des linear bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung.

Bei einem Gleichstromantrieb wird die Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers mittels eines, mit diesem Läufer mechanisch verbundenen, vorzugsweise nach dem Ferraris-Prinzip arbeitenden Beschleunigungsmessers [3;4;5] meßtechnisch erfaßt und steht damit als gemessenes Beschleunigungssignal  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung. Hierbei stellt  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , die sogenannte Meßübertragungsfunktion des Beschleunigungsmessers dar. Das Drehmoment  $m$  des Antriebs, das nachstehend als

Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = \underline{m}$  bezeichnet sei, wird ebenfalls meßtechnisch erfaßt und steht damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung. Wie unmittelbar einzusehen ist, kann, ohne die Funktion der erfindungsgemäßen Einrichtung zu beeinträchtigen, anstelle des Drehmoments  $\underline{m}$  des Antriebs natürlich auch der Ankerstrom  $i_a$  der gleichstromgespeisten Ankerwicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = i_a$  verwendet werden. Dabei wird nachstehend, wie in der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut drehsteifen Verbindung von jener Oberfläche des rotatorisch bewegten Läufers, an welcher der Drehschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des rotatorisch bewegten Teils des Drehbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung  $b_m = \underline{\alpha} \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist. Das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  wird dem Eingang eines Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt. An dessen Ausgang kann daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden. Das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  wird dem Eingang eines Hochpasses mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt. An dessen Ausgang kann infolgedessen das Signal  $y = b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden. Nun wird gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal  $z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet. Dieses Synthesesignal  $z$  findet als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Drehbeschleunigung  $\underline{\alpha}$  des rotatorisch bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung.

Im folgenden werden die Einrichtung und das Verfahren zur Gewinnung eines dynamisch hochwertigen, teilweise synthetisierten Signals für die Beschleunigung des Läufers einer Maschine am Beispiel einer fremderregten Gleichstrommaschine

anhand der Darstellungen in den Figuren 1 bis 4 im einzelnen erläutert.

Für den Aufbau einer hochwertigen Positions- oder Geschwindigkeitsregelung für eine fremderregte Gleichstrommaschine ist es vorteilhaft, in der innersten Schleife statt des Ankerstromes die Drehbeschleunigung des Rotors zu führen, daß heißt zu regeln. Hierzu wird die Drehbeschleunigung  $\alpha$  des Rotors mittels eines, vorzugsweise nach dem Ferraris-Prinzip arbeitendem, Beschleunigungsmessers erfaßt und steht damit als gemessene Drehbeschleunigung  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung. Der Block 1 (siehe Fig. 1, 2, 3 und 4) mit der Übertragungsfunktion  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , beschreibt den sogenannten Meßfrequenzgang des Beschleunigungsmessers. Das Drehmoment  $m$  des Antriebs, das nachstehend als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = m$  bezeichnet sei, wird ebenfalls meßtechnisch erfaßt und steht damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung.

Anstelle des Moments  $m$  des Antriebs kann natürlich auch der Ankerstrom  $i_a$  der gleichstromgespeisten Ankerwicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = i_a$  verwendet werden. Dabei wird nachstehend, wie in der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut drehsteifen Verbindung von jener Oberfläche des rotatorisch bewegten Läufers, an welcher der Drehschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des rotatorisch bewegten Teils des Drehbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung  $b_m = \alpha \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist. Das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  wird dem Eingang eines Tiefpasses 2 (siehe Fig. 1, 2, 3 und 4) mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt. An dessen Ausgang kann daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden. Das gemessene Beschleunigungsstromsignal  $i_{bm}$  wird dem Eingang eines Hochpasses 3 (siehe Fig. 1 und 2) mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt. An dessen Ausgang kann

infolgedessen das Signal  $y = b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden. Nun wird gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal  $z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet. Dieses Synthesesignal  $z$  findet als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung. Die Differenz zwischen dem von einer überlagerten Regelung vorgegebenem Sollwert  $\alpha_{soll}$  und dem Synthesesignal  $z$  wird als Regeldifferenz einem geeigneten Regler 4 (siehe Fig. 1) zugeführt. In dem für die Stabilität, mögliche Grenzzyklen und selbsterregte Schwingungen entscheidenden Führungs frequenzgang des mit Hilfe des Synthesesignals  $z$  gebildeten Regelkreises sind die Verzögerung der Meßübertragungsfunktion  $F_g(p)$  sowie die erhebliche störende Wirkung der Übertragungsfunktion  $F_M(p)$  eliminiert. Dabei beschreibt die letztgenannte Übertragungsfunktion  $F_M(p)$  den mechanischen Frequenzgang von jener Oberfläche des bewegten Läufers, an welcher der Schub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des bewegten Teils des Beschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird. Der Tiefpaß mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  schaltet den Einfluß dieses mechanischen Frequenzgangs nahezu vollständig aus. Solange die Übertragungsfunktion  $F_M(p)$  noch nicht erheblich vom Wert 1 abweicht, weist die Dämpfung des Tiefpasses noch kein beachtlichen Werte auf. Ab der Grenzfrequenz des Tiefpasses steigt die Dämpfung dann aber kräftig an, so daß die unvermeidlichen Resonanzüberhöhungen des mechanischen Frequenzgangs praktisch keinen Einfluß mehr haben. Die Verzögerung des Beschleunigungssignals  $b_m$  durch die Meßübertragungsfunktion  $F_g(p)$  sowie die zusätzlich durch den Tiefpaß verursachte Verzögerung werden durch das Signal  $y = b_{Em} \cdot F_H(p)$  am Ausgang des Hochpasses im genannten Führungs frequenzgang des mit Hilfe des Synthesesignals  $z$  gebildeten Regelkreises gänzlich eliminiert.

Das dargelegte erfindungsgemäße Vorgehen wird auch durch das in Figur 1 dargestellte Blockschaltbild beschrieben. Dabei beschreibt das Verzögerungsglied erster Ordnung 5 (siehe Fig. 1, 2, 3 und 4) mit der Verstärkung  $V_R$  und der Zeitkonstanten

Teil die verzögerte Reaktion des Ankerstromes  $i_A$  auf eine Spannungsänderung am Eingang des Verzögerungsgliedes.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Ausgangsspannung des Pulswechselrichter, der die Ankerwicklung des Antriebs speist, nach dem Prinzip der zeitdiskreten Schaltzustandssteuerung mit einer Taktfrequenz  $f_A = \frac{1}{T_A}$  im Bereich von 100 kHz direkt aus einem Zweipunktregelkreis abgeleitet [6]. In Figur 2 ist daher der Regler 4 durch das Zweipunktglied 6, ein Abtastglied 7 mit der Abtastfrequenz  $f_A = \frac{1}{T_A}$  und ein Halteglied nullter Ordnung 8 ersetzt. Die Verstärkungen  $V$  und  $-V$  im Zweipunktglied 6 berücksichtigen das Verhältnis der Umrichterausgangsspannung zur Nennspannung der Maschine. Das Abtastglied 7 und das Halteglied nullter Ordnung 8 berücksichtigen die Wirkung der zeitdiskreten Schaltzustandssteuerung. In dieser Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung ist die Grenzfrequenz des Tiefpasses 2 mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  genügend tief zu wählen, daß im Zweipunktregelkreis für das Synthesesignal  $z$  keine selbsterregten Schwingungen auftreten.

Sollte sich der in der praktischen Realisierung stets gegebene Umstand, daß der Zusammenhang zwischen dem gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{EM}$  und dem gemessenen Beschleunigungs signal  $\alpha_m$  durch die Gleichung  $\alpha_m = F_g(p) \cdot b_{EM}$  nur unvollständig beschrieben wird als störend für die Qualität der unterlagerten Zweipunktregelung erweisen, so wird das erfindungsgemäße Verfahren erweitert. Diese Erweiterung wird durch das Blockschaltbild in Figur 3 gekennzeichnet. Dabei beschreibt die Übertragungsfunktion  $F_M(p)$  9 den mechanischen Frequenzgang von jener Oberfläche des bewegten Läufers, an welcher der Schub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des bewegten Teils des Beschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird. Der Zusammenhang zwischen dem Beschleunigungsersatzsignal  $b_{EM}$  und der gemessenen Beschleunigung  $\alpha_m$  lautet somit  $\alpha_m = F_M(p) \cdot F_g(p) \cdot b_{EM}$ . Dieser mechanische Frequenzgang mit der Übertragungsfunktion  $F_M(p)$  9 (siehe Fig. 3 und 4) wird nun dadurch berücksichtigt, daß anstelle des Hochpasses 3 mit der Hochpaßübertragungsfunktion

$F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  ein modifizierter Hochpaß 10 mit der modifizierten Hochpaßübertragungsfunktion

$F_h(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p) \cdot F_M(p)$  eingesetzt wird. Die Grenzfrequenz des Tiefpasses 2 mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  wird bei diesem Vorgehen zweckmäßigerweise erst dann festgelegt, nachdem der Hochpaß 3 mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p)$  durch den modifizierten Hochpaß 10 mit der modifizierten Hochpaßübertragungsfunktion  $F_h(p)$  ersetzt ist.

Sollte die Übertragungsfunktion  $F_M(p)$  eine Vielzahl von Pol- und/oder Nullstellen aufweisen, so gestaltet sich die Realisierung des Hochpasses 10 mit der modifizierten Hochpaßübertragungsfunktion  $F_h(p)$  sehr aufwendig. Um diesen Aufwand bei der Realisierung des Hochpasses 10 zu verringern, kann das erfindungsgemäße Verfahren noch folgendermaßen modifiziert werden. Von der Übertragungsfunktion des mechanischen Frequenzgangs wird ein Teil

$$F_0(p) = \frac{(1+p \cdot T_\mu) \cdot (1+2 \cdot D_V \cdot p \cdot T_V + p^2 \cdot T_V^2) \cdot \dots}{(1+p \cdot T_i) \cdot (1+2 \cdot D_j \cdot p \cdot T_j + p^2 \cdot T_j^2) \cdot \dots}$$

abgespalten, der einen oder einige Pole und/oder Nullstellen mit besonders großen Werten von  $T_\mu$ ,  $T_V$ ,  $T_i$  oder  $T_j$  berücksichtigt. Die Übertragungsfunktion des mechanischen Frequenzgangs lässt sich damit wie folgt darstellen:

$$F_M(p) = F_0(p) \cdot F_{M, \text{Rest}}(p) \text{ mit } F_{M, \text{Rest}}(p) = F_M(p) \cdot F_0^{-1}(p).$$

Der mechanische Frequenzgang mit der Übertragungsfunktion  $F_M(p)$  wird nun näherungsweise dadurch berücksichtigt, daß anstelle des Hochpasses 3 mit der Hochpaßübertragungsfunktion

$F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  ein modifizierter Hochpaß 11 mit der modifizierten Hochpaßübertragungsfunktion

$F_{h^*}(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p) \cdot F_0(p)$  eingesetzt wird. Die Grenzfrequenz des Tiefpasses 2 mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  wird bei diesem Vorgehen zweckmäßigerweise erst dann festgelegt, nachdem der Hochpaß 3 mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p)$  durch den modifizierten Hochpaß 11 mit der modifizierten Hochpaßübertragungsfunktion  $F_{h^*}(p)$  ersetzt ist. Das dargelegte erfindungsgemäße Vorgehen wird durch das in Figur 4 dargestellte Blockschaltbild beschrieben.

- [1] Leonhard, W.: Elektrische Regelantriebe für den Maschinenbau, Stand der Technik, Entwicklungstendenzen. VDI-Zeitschrift (1981) Nr. 10.
- [2] Weck, M., Krüger, P., Brecher, C., Remy, F.: Statische und dynamische Steifigkeit von linearen Direktantrieben, antriebstechnik 36 (1997), Nr. 12, S. 57 - 63.
- [3] Schwarz, B.: Beiträge zu reaktionsschnellen und hochgenauen Drehstrom-Positioniersystemen, Dissertation Universität Stuttgart, 1986.
- [4] Gambach, H.: Servoantriebe mit unterlagerter Zweipunktregelung ihrer Drehbeschleunigung, Dissertation Universität Stuttgart, 1993.
- [5] EP 0 661 543 B1, Gebersystem zur Ermittlung wenigstens einer der drei Größen Drehbeschleunigung, Winkelgeschwindigkeit oder Winkellage eines rotierenden Bauteils.
- [6] Boehringer, A.: Einstellung der Schaltzustände in Stellgliedern der Leistungselektronik durch den unmittelbar gewünschten Effekt, etzArchiv Bd. 11 (1989), H. 12, S. 381 - 388.

Patentansprüche

1. Einrichtung und Verfahren zur Gewinnung eines dynamisch hochwertigen, teilweise synthetisierten Signals für die Drehbeschleunigung eines Drehstromantriebs mit rotatorisch bewegtem Läufer,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers mittels eines, mit diesem Läufer mechanisch verbundenen, vorzugsweise nach dem Ferraris-Prinzip arbeitenden Beschleunigungsmessers meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungssignal  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung steht, wobei  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , die sogenannte Meßübertragungsfunktion darstellt, und daß das Drehmoment  $m$  des Antriebs, das nachstehend als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = m$  bezeichnet sei, meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung steht, wobei nachstehend, wie in der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen sei, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut drehsteifen Verbindung von jener Oberfläche des rotatorisch bewegten Läufers, an welcher der Drehschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des rotatorisch bewegten Teils des Drehbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung  $b_m = \alpha \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist, und  
dadurch gekennzeichnet, daß das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  dem Eingang eines Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden kann, und daß das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  dem Eingang eines Hochpasses mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt wird, an dessen Ausgang infolgedessen das Signal  $y = b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden kann, und daß gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal

$z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet wird und dieses Synthesesignal  $z$  als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung findet.

2. Einrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Drehmoments  $m$  des Antriebs die unmittelbar drehmomentbildende Querstromkomponente  $i_q$  des Stromraumzeigers der drehstromgespeisten Wicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = i_q$  verwendet wird.
3. Einrichtung und Verfahren zur Gewinnung eines dynamisch hochwertigen, teilweise synthetisierten Signals für die Linearbeschleunigung eines Wanderfeldantriebs mit linear bewegtem Läufer, dadurch gekennzeichnet, daß die Linearbeschleunigung  $\alpha$  des linear bewegten Läufers mittels eines, mit diesem Läufer mechanisch verbundenen, vorzugsweise nach dem in die Linearbewegung transponierten Ferraris-Prinzip arbeitenden Beschleunigungsmessers meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungssignal  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung steht, wobei  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , die sogenannte Meßübertragungsfunktion darstellt, und daß die Linearkraft  $f$  des Antriebs, die nachstehend als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = f$  bezeichnet sei, meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung steht, wobei nachstehend, wie in der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen sei, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut steifen Verbindung von jener Oberfläche des linear bewegten Läufers, an welcher der Linearschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des linear bewegten Teils des Linearbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungs-

erfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung  $b_m = \alpha \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist, und

dadurch gekennzeichnet, daß das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  dem Eingang eines Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden kann, und daß das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  dem Eingang eines Hochpasses mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal

$y = b_{Em} [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden kann, und daß gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal

$z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet wird und dieses Synthesesignal  $z$  als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Linearbeschleunigung  $\alpha$  des linear bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung findet.

#### 4. Einrichtung und Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, daß anstelle der Linearkraft  $f$  des Antriebs die unmittelbar linearkraftbildende Querstromkomponente  $i_q$  des Stromraumzeigers der mehrphasenstromgespeisten Wicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = i_q$  verwendet wird.

#### 5. Einrichtung und Verfahren zur Gewinnung eines dynamisch hochwertigen, teilweise synthetisierten Signals für die Drehbeschleunigung eines Gleichstromantriebs mit rotatorisch bewegtem Läufer,

dadurch gekennzeichnet, daß die Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers mittels eines, mit diesem Läufer mechanisch verbundenen, vorzugsweise nach dem Ferraris-Prinzip arbeitenden Beschleunigungsmessers meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungssignal  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung steht, wobei  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , die sogenannte Meßübertragungsfunktion darstellt, und daß das Drehmoment  $m$  des Antriebs, das nachstehend als Beschleu-

nigungsersatzsignal  $b_E = \underline{m}$  bezeichnet sei, meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung steht, wobei nachstehend, wie in der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen sei, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut drehsteifen Verbindung von jener Oberfläche des rotatorisch bewegten Läufers, an welcher der Drehschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des rotatorisch bewegten Teils des Drehbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung  $b_m = \alpha \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist, und dadurch gekennzeichnet, daß das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  dem Eingang eines Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden kann, und daß das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  dem Eingang eines Hochpasses mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal  $y = b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden kann, und daß gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal  $z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet wird und dieses Synthesesignal  $z$  als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung findet.

6. Einrichtung und Verfahren nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Drehmoments  $\underline{m}$  des Antriebs der Ankerstrom  $i_a$  der gleichstromgespeisten Ankerwicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = i_a$  verwendet wird.

- [1] Leonhard, W.: Elektrische Regelantriebe für den Maschinenbau, Stand der Technik, Entwicklungstendenzen. VDI-Zeitschrift (1981) Nr. 10.
- [2] Weck, M., Krüger, P., Brecher, C., Remy, F.: Statische und dynamische Steifigkeit von linearen Direktantrieben, antriebstechnik 36 (1997), Nr. 12, S. 57 - 63.
- [3] Schwarz, B.: Beiträge zu reaktionsschnellen und hochgenauen Drehstrom-Positioniersystemen, Dissertation Universität Stuttgart, 1986.
- [4] Gambach, H.: Servoantriebe mit unterlagerter Zweipunktregelung ihrer Drehbeschleunigung, Dissertation Universität Stuttgart, 1993.
- [5] EP 0 661 543 B1, Gebersystem zur Ermittlung wenigstens einer der drei Größen Drehbeschleunigung, Winkelgeschwindigkeit oder Winkellage eines rotierenden Bauteils.
- [6] Boehringer, A.: Einstellung der Schaltzustände in Stellgliedern der Leistungselektronik durch den unmittelbar gewünschten Effekt, etzArchiv Bd. 11 (1989), H. 12, S. 381 - 388.

Patentansprüche

1. Einrichtung und Verfahren zur Gewinnung eines dynamisch hochwertigen, teilweise synthetisierten Signals für die Drehbeschleunigung eines Drehstromantriebs mit rotatorisch bewegtem Läufer,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers mittels eines, mit diesem Läufer mechanisch verbundenen, vorzugsweise nach dem Ferraris-Prinzip arbeitenden Beschleunigungsmessers meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungssignal  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung steht, wobei  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , die sogenannte Meßübertragungsfunktion darstellt, und daß das Drehmoment  $m$  des Antriebs, das nachstehend als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = m$  bezeichnet sei, meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung steht, wobei nachstehend, wie in der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen sei, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut drehsteifen Verbindung von jener Oberfläche des rotatorisch bewegten Läufers, an welcher der Drehschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des rotatorisch bewegten Teils des Drehbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung  $b_m = \alpha \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist, und  
dadurch gekennzeichnet, daß das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  dem Eingang eines Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden kann, und daß das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  dem Eingang eines Hochpasses mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt wird, an dessen Ausgang infolgedessen das Signal  $y = b_{Em} \cdot [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden kann, und daß gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal

$z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet wird und dieses Synthesesignal  $z$  als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung findet.

2. Einrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Drehmoments  $m$  des Antriebs die unmittelbar drehmomentbildende Querstromkomponente  $i_q$  des Stromraumzeigers der drehstromgespeisten Wicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = i_q$  verwendet wird.
3. Einrichtung und Verfahren zur Gewinnung eines dynamisch hochwertigen, teilweise synthetisierten Signals für die Linearbeschleunigung eines Wanderfeldantriebs mit linear bewegtem Läufer, dadurch gekennzeichnet, daß die Linearbeschleunigung  $\alpha$  des linear bewegten Läufers mittels eines, mit diesem Läufer mechanisch verbundenen, vorzugsweise nach dem in die Linearbewegung transponierten Ferraris-Prinzip arbeitenden Beschleunigungsmessers meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungssignal  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung steht, wobei  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , die sogenannte Meßübertragungsfunktion darstellt, und daß die Linearkraft  $f$  des Antriebs, die nachstehend als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = f$  bezeichnet sei, meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung steht, wobei nachstehend, wie in der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen sei, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut steifen Verbindung von jener Oberfläche des linear bewegten Läufers, an welcher der Linearschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des linear bewegten Teils des Linearbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungs-

erfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung  $b_m = \alpha \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist, und

dadurch gekennzeichnet, daß das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  dem Eingang eines Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden kann, und daß das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  dem Eingang eines Hochpasses mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal

$y = b_{Em} [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden kann, und daß gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal

$z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet wird und dieses Synthesesignal  $z$  als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Linearbeschleunigung  $\alpha$  des linear bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung findet.

4. Einrichtung und Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle der Linearkraft  $f$  des Antriebs die unmittelbar linearkraftbildende Querstromkomponente  $i_q$  des Stromraumzeigers der mehrphasenstromgespeisten Wicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = i_q$  verwendet wird.
5. Einrichtung und Verfahren zur Gewinnung eines dynamisch hochwertigen, teilweise synthetisierten Signals für die Drehbeschleunigung eines Gleichstromantriebs mit rotatorisch bewegtem Läufer,

dadurch gekennzeichnet, daß die Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers mittels eines, mit diesem Läufer mechanisch verbundenen, vorzugsweise nach dem Ferraris-Prinzip arbeitenden Beschleunigungsmessers meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungssignal  $b_m = \alpha \cdot F_g(p)$  zur Verfügung steht, wobei  $F_g(p)$ , mit  $F_g(0) = 1$ , die sogenannte Meßübertragungsfunktion darstellt, und daß das Drehmoment  $m$  des Antriebs, das nachstehend als Beschleu-

nigungsersatzsignal  $b_E = \underline{m}$  bezeichnet sei, meßtechnisch erfaßt wird und damit als gemessenes Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  zur Verfügung steht, wobei nachstehend, wie in der Regelungstechnik üblich, davon ausgegangen sei, daß einerseits das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  und andererseits das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  unter Vernachlässigung sämtlicher, im genannten Antrieb entstehender Verluste und unter Zugrundelegung einer mechanisch absolut drehsteifen Verbindung von jener Oberfläche des rotatorisch bewegten Läufers, an welcher der Drehschub des Antriebs angreift, bis zu jenem Ort des rotatorisch bewegten Teils des Drehbeschleunigungsmessers, wo der für die Beschleunigungserfassung genutzte Effekt generiert wird, jeweils so normiert sind, daß die Beziehung  $b_m = \alpha \cdot F_g(p) = b_{Em} \cdot F_g(p)$  erfüllt ist, und dadurch gekennzeichnet, daß das gemessene Beschleunigungssignal  $b_m$  dem Eingang eines Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$ , mit  $F_T(0)$  vorzugsweise gleich 1, zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal  $x = b_m \cdot F_T(p)$  abgenommen werden kann, und daß das gemessene Beschleunigungsersatzsignal  $b_{Em}$  dem Eingang eines Hochpasses mit der Hochpaßübertragungsfunktion  $F_H(p) = F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)$  zugeführt wird, an dessen Ausgang daher das Signal  $y = b_{Em} [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  abgenommen werden kann, und daß gemäß der Beziehung  $z = x + y$  ein Signal  $z = b_m \cdot F_T(p) + b_{Em} [F_T(0) - F_T(p) \cdot F_g(p)]$  gebildet wird und dieses Synthesesignal  $z$  als dynamisch sehr hochwertiger Ersatz für den unverzögerten Istwert der Drehbeschleunigung  $\alpha$  des rotatorisch bewegten Läufers bei der regelungstechnischen Führung des genannten Antriebs weitere Verwendung findet.

---

6. Einrichtung und Verfahren nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Drehmoments  $\underline{m}$  des Antriebs der Ankerstrom  $i_a$  der gleichstromgespeisten Ankerwicklung des Antriebs als Beschleunigungsersatzsignal  $b_E = \underline{i_a}$  verwendet wird.

7. Einrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzfrequenz des Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  so klein gewählt ist, daß dann, wenn die mehrphasenstromgespeiste Wicklung des Antriebs über einen sogenannten Pulswechselrichter gespeist wird, und dessen ausgangsseitiger Spannungsraumzeiger nach dem Prinzip der zeitdiskreten Schaltzustandsänderung mit einer Taktfrequenz im Bereich von 100 kHz direkt aus einem Zweipunktregelkreis abgeleitet wird, welcher den Istwert des Synthesesignals  $z$  auf dessen Sollwert einregelt, in diesem Zweipunktregelkreis für das Synthesesignal  $z$  keine selbsterregten Schwingungen auftreten.

8. Einrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzfrequenz des Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  so klein gewählt ist, daß dann, wenn die gleichstromgespeiste Ankerwicklung des Antriebs über einen sogenannten Pulswechselrichter gespeist wird, und dessen Ausgangsspannung nach dem Prinzip der zeitdiskreten Schaltzustandsänderung mit einer Taktfrequenz im Bereich von 100 kHz direkt aus einem Zweipunktregelkreis abgeleitet wird, welcher den Istwert des Synthesesignals  $z$  auf dessen Sollwert einregelt, in diesem Zweipunktregelkreis für das Synthesesignal  $z$  keine selbsterregten Schwingungen auftreten.

9. Einrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Tiefpaß mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  so dimensioniert wird, daß seine Grenzfrequenz kleiner als 10 kHz ist.

---

10. Einrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der in der praktischen Realisierung stets gegebene Umstand, daß der Zusammenhang zwischen dem gemessenen Beschleunigungersatzsignal  $b_{EM}$  und dem gemessenen Beschleunigungssignal  $\alpha_m$  durch die Gleichung  $\alpha_m = F_g(p) \cdot b_{EM}$  nur unvollständig beschrieben wird und diese Gleichung daher, zur Berücksichtigung der tatsächlichen

7. Einrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzfrequenz des Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  so klein gewählt ist, daß dann, wenn die mehrphasenstromgespeiste Wicklung des Antriebs über einen sogenannten Pulswechselrichter gespeist wird, und dessen ausgangsseitiger Spannungsraumzeiger nach dem Prinzip der zeitdiskreten Schaltzustandsänderung mit einer Taktfrequenz im Bereich von 100 kHz direkt aus einem Zweipunktregelkreis abgeleitet wird, welcher den Istwert des Synthesesignals  $z$  auf dessen Sollwert einregelt, in diesem Zweipunktregelkreis für das Synthesesignal  $z$  keine selbsterregten Schwingungen auftreten.

8. Einrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzfrequenz des Tiefpasses mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  so klein gewählt ist, daß dann, wenn die gleichstromgespeiste Ankerwicklung des Antriebs über einen sogenannten Pulswechselrichter gespeist wird, und dessen Ausgangsspannung nach dem Prinzip der zeitdiskreten Schaltzustandsänderung mit einer Taktfrequenz im Bereich von 100 kHz direkt aus einem Zweipunktregelkreis abgeleitet wird, welcher den Istwert des Synthesesignals  $z$  auf dessen Sollwert einregelt, in diesem Zweipunktregelkreis für das Synthesesignal  $z$  keine selbsterregten Schwingungen auftreten.

9. Einrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Tiefpaß mit der Tiefpaßübertragungsfunktion  $F_T(p)$  so dimensioniert wird, daß seine Grenzfrequenz kleiner als 10 kHz ist.

10. Einrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der in der praktischen Realisierung stets gegebene Umstand, daß der Zusammenhang zwischen dem gemessenen Beschleunigungersatzsignal  $b_{EM}$  und dem gemessenen Beschleunigungssignal  $g_m$  durch die Gleichung  $\underline{g}_m = F_g(p) \cdot b_{EM}$  nur unvollständig beschrieben wird und diese Gleichung daher, zur Berücksichtigung der tatsächlichen